

УДК 62.529

М.С. Лещук, студентка гр. ПГ-91мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КАЛІБРУВАННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ РУХІВ ЛЮДИНИ

**Анотація.** В даній статті представлений огляд методів калібрування біомеханічних моделей. Було охарактеризовано основні напрямки розвитку біомеханічного моделювання. Описані три способи для калібрування скелету та особливості їх застосування.

**Ключові слова:** калібрування, біомеханічна модель, аналіз рухів

### ВСТУП

Для аналізу рухів у сфері біомеханіки важливим питанням є вимірювання сили і тиску всередині людського тіла. Проте безпосередньо здійснити такого роду вимірювання неможливо з ряду причин. Класично для цього застосовують ряд технологій, таких як динамометрія, електроміографія, технології захоплення руху. При використанні динамометрії людина взаємодіє з спеціальними силовими платформами, що кількісно оцінюють сили реакції, коли людина ходить або бігає. Методами електроміографії вимірюють потенціал при роботі м'язів, що стискаються. При захопленні рухів виконується оцінка кінематичних характеристик руху. Вищеописана інформація дуже важлива для дослідження механіки рухів, але без відповідних моделей вона малокорисна.

Єдиний спосіб, що дозволяє послідовно і методично проводити аналіз та дослідження руху людського тіла — це створення та визначення параметрів механічної моделі людського тіла або принаймні частин людського тіла. Налаштування біомеханічної моделі є єдиною можливістю отримати уявлення про механічну поведінку скелету людського тіла.

### ОГЛЯД МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ БІОМЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

На сучасному етапі у галузі біомеханічного моделювання спостерігаються два основні напрямки розвитку: 1) створення кінематичних моделей системи багатьох тіл, які використовуються в профілактиці лікування захворювань опорно-рухового апарату та у спорті, для вдосконалення підготовки спортсменів чи при реабілітації (рис.1); 2) чисельні моделі, що використовують метод скінченних елементів (рис.2), як успішно застосовуються для попередження травм, поліпшення конструкції обладнання та оптимізація прийомів руху [2].

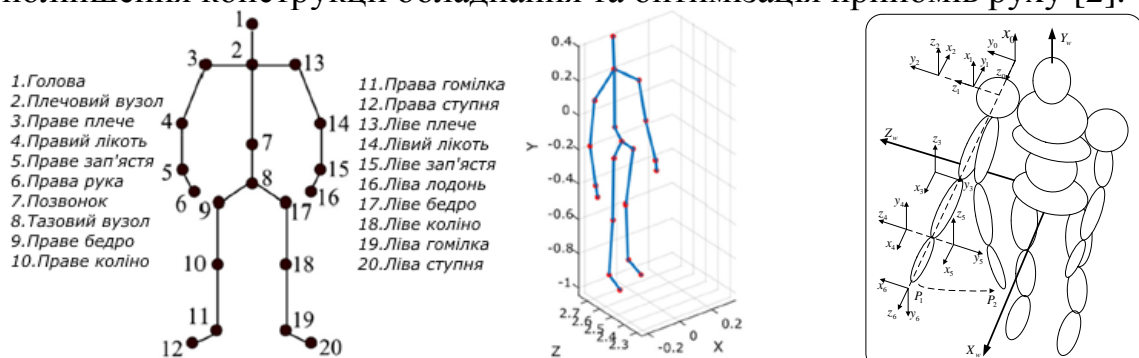


Рисунок 1. Кінематичні біомеханічні моделі скелету людини (зліва) та частини тіла (справа)

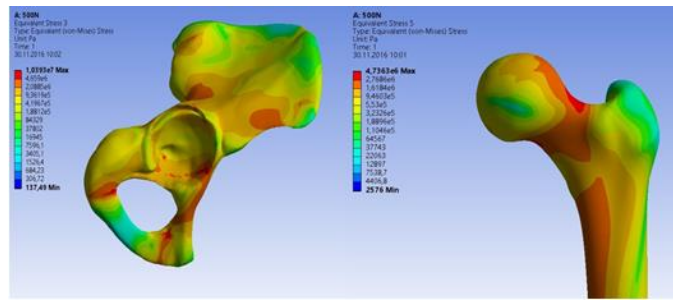


Рисунок 2. Чисельна модель частини скелету людини та її аналіз за допомогою МСЕ-пакету

Відстеження руху людей і тварин має велике значення в анімації, моніторингу стану пацієнтів, в спорті та сфері розваг. Щоб точно зобразити поведінку людини, необхідна точна біомеханічна модель скелету. В іншому випадку рухи моделі будуть непропорційними. Тому перед відстеженням фактичного руху об'єкта дуже важливою є процедура калібрування для визначення всіх параметрів кінцівки [1].

Калібровка полягає у визначенні лінійних та кутових розмірів біомеханічної моделі за допомогою спеціальних процедур вимірювання розмірів тіла людини.

Хоча оптичні технології захоплення руху можуть оцінити розміри користувача шляхом визначення центру та осі обертання на основі статистичного аналізу положення маркерів, велика кількість маркерів та кількість даних робить процедуру оцінки дуже трудомісткою і складною. Калібрування параметрів біомеханічної моделі для оптичних систем часто проводиться за допомогою стандартної калібрувальної сітки контрольної дошки та відповідних інструментів системи Matlab [3]. Якщо маркери не розташовані належним чином, то через особливості алгоритмів оцінки параметрів моделі та із-за ефектів рухомості шкіри – результат є неточним. Також значною є проблема перекриття маркерів. Для подолання частини з цих обмежень використовуються інерціальні вимірювальні модулі, як пристрої оцінки просторової орієнтації людського тіла. Оскільки інерціальні треки досить маленькі та практично не накладають обмеження щодо людського руху, то вони можуть забезпечити точне захоплення руху.

При установці інерціальних блоків на тілі невідоме початкове положення між ними та сегментами тіла. Більше того, оцінка відстаней між сегментами тіла утруднена чисельним інтегруванням прискорення через невідоме початкове положення. Для інерціальних систем обов'язково необхідно виконувати процедуру калібрування, в якій визначаються розміщення та орієнтації датчиків відносно сегментів тіла [4]. Калібрування моделі скелета проводиться на основі кінематичних рівнянь. Під час калібрування використовують кінематику кінцівок та виконують її оцінку за допомогою датчиків орієнтації, з урахуванням положення кінцівок та кінцевих ефекторів. Використання цих даних у кінематичних рівняннях дозволяє виконати калібровку розмірів кінцівок. Тобто калібрування параметрів кінцівки базується на орієнтації кінцівок і позиції кінцевих ефекторів.

У роботі [1] було запропоновано три різні способи для калібрування біомеханічної моделі скелету: метод параметризації, метод нульового опорного положення та методи добутку матриці експонент. Для параметризації рухів

людини найзручнішим є метод матриці експонент. Даний метод дозволяє ввести в модель і лінійні, і кутові степені свободи суглобів людини. Хоча суглоби людини є складними суглобами з поступальним рухом, головне завдання полягає в калібруванні просторових розмірів кінцівок. Таким чином, можна проігнорувати незначні поступальні ефекти і припустити, що суглоби є чисто обертовими [1].

Добуток матричних експонент є компактним методом для формулювання прямої задачі кінематики відкритого кінематичного ланцюга. Він однаково описує обертові та лінійні(призматичні) суглоби, а системи координат можуть бути зв'язані з ланками довільним чином. Отже, у цьому випадку визначення системи координат, зв'язаної з частиною тіла, може бути більш гнучким.[1]

Метод нульової опорної позиції, ґрунтується на довільному виборі нульової опорної позиції, принципі подібності переміщення та послідовності ручної основи зміни спільних змінних в послідовному маніпуляторі. Опис нульового опорного положення найбільш підходить для відкритих кінематичних ланцюгів, які знаходяться в послідовних маніпуляторах, зв'язках, що використовуються для вимірювання відносних рухів, та біологічних системах [5].

## ВИСНОВОК

З кожним днем біомеханічні моделі дедалі більше вдосконалюються, стають довершеними, тому налаштування та калібрування є важливим етапом в розробці та створенні біомеханічної моделі. Вибір методу калібрування залежить від сфери застосування та виду моделі. У даній статті було розглянуто методи калібрування біомеханічних моделей, їх особливості та доцільність їхнього використання в тому чи іншому випадку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]I-Ming Chen, Qilong Yuan Method to Calibrate the Skeleton Model Using Orientation Sensors. Conference Paper in Proceedings. *IEEE International Conference on Robotics and Automation - May 2013*
- [2]K. Engel, R. Herpers, U. Hartmann, Biomechanical Computer Models [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.intechopen.com/books/theoretical-biomechanics/biomechanical-computer-model>
- [3]Leonid Sigal, Alexandru O. Balan, Michael J. Black. HumanEva: Synchronized Video and Motion Capture Dataset and Baseline Algorithm for Evaluation of Articulated Human Motion. *Springer Science+Business Media, 10 July 2009*
- [4] Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors Daniel Roetenberg, Henk Luinge, and Per Slycke. *XSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 8, 2009*
- [5]K. C. Gupta and G. J. Carlson, On Certain Aspects of the Zero Reference Position Method and Its Applications to an Industrial Manipulator. *Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Chicago, Chicago, Illinois*

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Лакоза С.Л.*